Gouvernement du Canada
Government of Canada

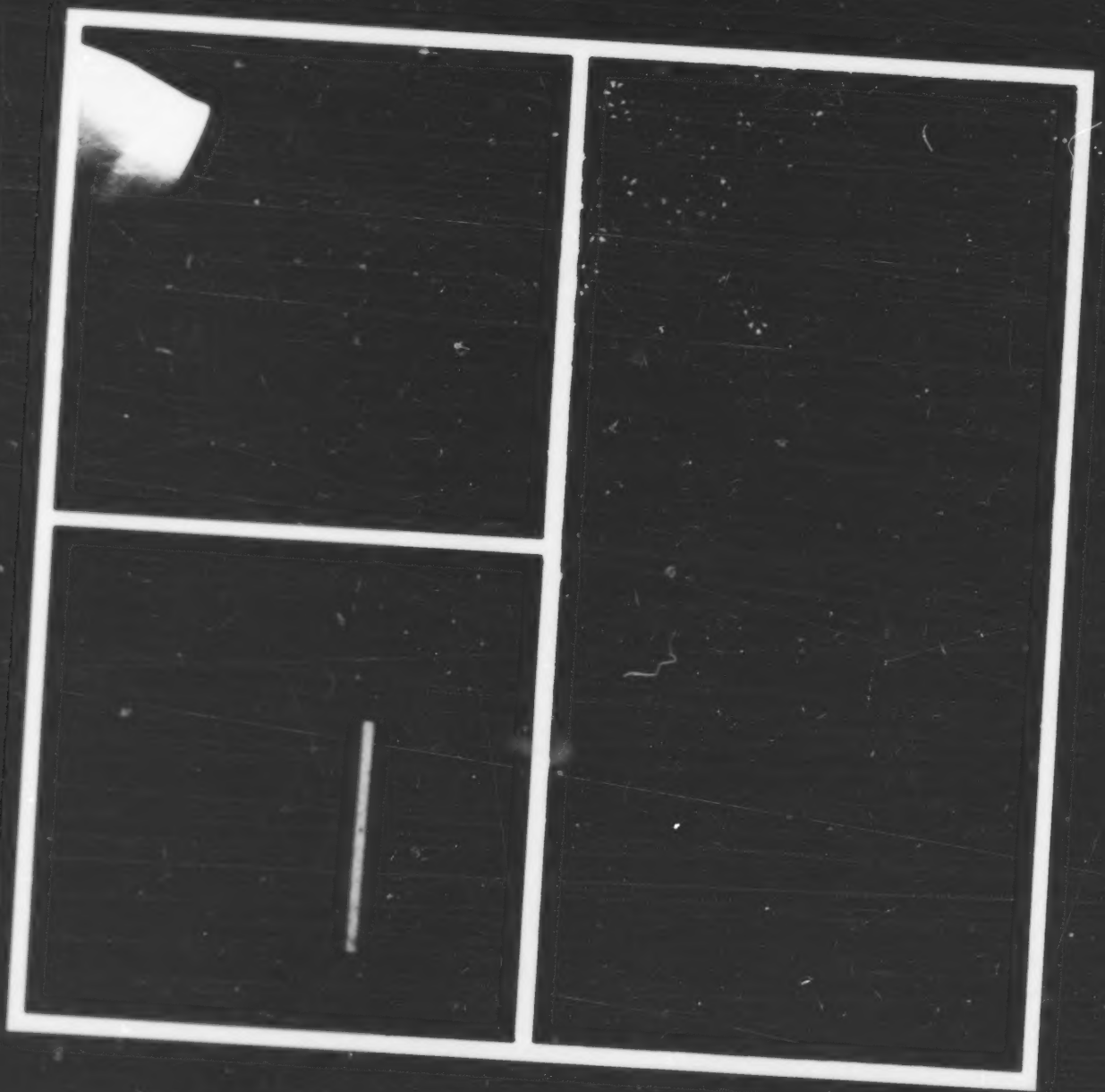
Service canadien des forêts
Canadian Forestry Service

Aptitudes au bouturage de l'épicea commun à l'âge de la reproduction

Rooting ability of cuttings from sexually mature Norway spruce

G. Daoust, J. Beaulieu et/and A. Corriveau

Rapport d'information/Information Report LAU-X-75
Centre de foresterie des Laurentides
Laurentian Forestry Centre



88-02375/

CENTRE DE FORESTERIE DES LAURENTIDES

Le Centre de foresterie des Laurentides (CFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF). Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CFL visent à acquérir une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes forestiers en vue de contribuer à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.

Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.

LAURENTIAN FORESTRY CENTRE

The Laurentian Forestry Centre (LFC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS). The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFC seek to acquire a better understanding of how the forest ecosystem works with a view to solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.

In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.

Aptitudes au bouturage de l'épicea commun à l'âge de la reproduction

Rooting ability of cuttings from sexually mature Norway spruce

G. Daoust, J. Beaulieu et/and A. Corriveau

Rapport d'information LAU-X-75
1987

Information Report LAU-X-75
1987

Centre de foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts

Laurentian Forestry Centre
Canadian Forestry Service

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:

Centre de foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts
1055, rue du P.E.P.S.
C.P. 3800
Sainte-Foy (Québec)
G1V 4C7

Copies are available free of charge from:

Laurentian Forestry Centre
Canadian Forestry Service
1055 du P.E.P.S.
P.O. Box 3800
Sainte-Foy, Quebec
G1V 4C7

N° de catalogue/Catalog No. Fo46-13/75
ISSN 0835-1589
ISBN 0-662-55409-4

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1987
©Minister of Supply and Services Canada, 1987

IN MEMORIAM

Nous dédions ce travail à la mémoire de notre compagnon, Jean-Claude Boutin, décédé accidentellement dans l'exercice de ses fonctions le 2 juin 1986.

This study is dedicated to the memory of our colleague Jean-Claude Boutin, who died accidentally in the performance of his duties on June 2, 1986.

TABLE DES MATIÈRES

Page

LISTE DES TABLEAUX ET DE LA FIGURE . vi

RÉSUMÉ vii

INTRODUCTION 1

MATÉRIEL ET MÉTHODES 5

Matériel végétal, traitement des boutures et milieu d'enracinement . . . 5

Observations et analyses statistiques 8

RÉSULTATS ET DISCUSSION 9

Le taux de racinement clonal moyen 9

Nombre moyen et ramifications des racines adventives 13

CONCLUSION 17

RÉFÉRENCES 18

TABLE OF CONTENTS

Page

LIST OF TABLES AND FIGURE . . . vi

ABSTRACT vii

INTRODUCTION 1

MATERIALS AND METHODS 5

Plant material, handling of cuttings and rooting medium 5

Observations and statistical analyses 8

RESULTS AND DISCUSSION 9

Mean clonal rooting percentage 9

Mean number and ramification of adventitious roots 13

CONCLUSION 17

REFERENCES 18

LISTE DES TABLEAUX ET DE LA FIGURE

Page

Tableau 1. Provenances d'épicea commun multipliées par bouturage . . . 6

Tableau 2. Aptitude au bouturage des clones d'épicea commun de provenances supérieures 10

Tableau 3. Analyse de la variance du taux de racinement, du nombre moyen de racines adventives formées par bouture chez les clones d'épicea commun 11

Tableau 4. Corrélation entre les caractéristiques de rhizogénèse au niveau des clones et des provenances chez l'épicea commun 16

Figure 1. Variation intraclonale du racinement des boutures d'épicea commun à l'âge de 19 ans 14

LIST OF TABLES AND FIGURE

Page

Table 1. Origins of Norway spruce propagated by cuttings 6

Table 2. Rooting ability of Norway spruce cuttings from superior provenances. 10

Table 3. Analysis of variance of rooting percentage and mean number of adventitious roots formed per cutting in Norway spruce clones 11

Table 4. Correlation between rhizogenic characteristics of Norway spruce clones and provenances. 16

Figure 1. Intraclonal variation in rooting performance of cuttings from Norway spruce aged 19 years. 14

RÉSUMÉ

L'examen des aptitudes au bouturage de trente arbres-plus âgés de 19 ans et issus de six provenances d'épicea commun a été entrepris afin d'évaluer cette technique de propagation en vue de la réalisation de vergers à graines clonaux. Dix-neuf semaines après le début du test, l'ensemble des clones présentait un taux de racinement moyen de 57 pourcent et un peu plus de 2,3 racines par bouture. Des différences significatives au seuil de 1 pourcent ont été trouvées tant au niveau clonal qu'au niveau de l'origine des arbres. En établissant comme seuil d'acceptation un taux de racinement clonal de 50 pourcent, près des deux-tiers des arbres sélectionnés seraient aptes à constituer le verger. Toutes les provenances y seraient représentées assurant ainsi la diversité génétique des semences produites.

ABSTRACT

The rooting ability of cuttings of 30 plus-trees aged 19 years from 6 Norway spruce provenances was examined in order to assess this propagation technique with a view to setting up clonal seed orchards. Nineteen weeks after the start of the test, the clones as a group showed a mean rooting percentage of 57 percent and slightly over 2.3 roots per cutting. Differences significant at the 1 percent level were found between both clones and tree origins. If the acceptability limit were set at 50 percent, nearly two-thirds of the selected trees would be suitable for making up the orchard. All provenances would be represented, thus ensuring the genetic diversity of the seed produced.

INTRODUCTION

L'épicea commun (*Picea abies* (L.) Karst), d'origine allemande et suédoise, a été introduit au Québec au début des années 1900 (MacArthur, 1964). Sous notre climat continental froid, les performances végétatives de cette espèce sont étroitement liées à l'origine géographique des sources de semences utilisées. Les provenances mésadaptées souffrent de dommages causés par le froid. Les sources adaptées ont toutefois leur débourrement, arrêt de croissance et entrée en dormance harmonisés avec le climat local. Elles démontrent une bonne adaptabilité aux variations des sites et leur rendement économique est supérieur à celui des épinettes indigènes (Castonguay, 1977; Corriveau, 1976). Leur productivité maximale est atteinte sur les sols de texture moyenne à fine, loams frais et sables loameux modérément drainés, de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent (Camirand *et al.*, 1983). Suite aux essais de provenances conduits dans cette région et en Gaspésie, un certain nombre de provenances de rusticité éprouvée et de productivité supérieure ont été identifiées et recommandées en vue des reboisements, du développement de variétés multiclonales et de l'amélioration génétique de l'espèce en fonction des conditions pédoclimatiques du Québec

INTRODUCTION

Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) of German and Swedish origin was introduced to Quebec in the early 1900s (MacArthur 1964). Under our cold continental climate, the vegetative performance of this species is closely linked to the geographic origin of the seed sources used. Poorly adapted provenances are subject to damage caused by cold. In well-adapted sources, budbreak, suspension of growth, and entry into dormancy are attuned to the local climate. These sources show good adaptability to site variations and economic yield superior to that of indigenous spruces (Castonguay 1977; Corriveau 1976). Maximum productivity is obtained in moderate to fine textured soils, fresh loams, and moderately drained loamy sands of the Great Lakes and St. Lawrence forest region (Camirand et al. 1983). Further to provenance tests conducted in this region and the Gaspé Peninsula, several provenances, demonstrating hardiness and superior productivity, were identified and recommend for reforestation, development of multiclonal varieties, and genetic improvement of the species in accordance with pedoclimatic conditions in southern Quebec (Corriveau and Vallée eds. 1983) (Daoust and Corriveau 1986. Amélioration génétique de l'épicea commun. Unpublished).

méridional (Corriveau et Vallée éds., 1983) (Daoust G., Corriveau A. 1986. Amélioration génétique de l'épicea commun. Exposé d'étude, Document interne. Serv. can. forêts).

Encouragé par les performances remarquables obtenues des provenances supérieures et des plantations commerciales de belle venue, le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MER) prévoit planter 20 millions de semis d'épicea commun annuellement à compter de 1988. Ces chiffres sont présentés dans un document interne publié en 1985 par le Service de la régénération forestière du MER intitulé Programme d'implantation du réseau de vergers à graines du Québec. Pour combler ses besoins en semences de qualité, cet organisme a planifié l'établissement d'un réseau de vergers à graines totalisant près de 90 ha.

Deux techniques de propagation végétative dont l'efficacité est reconnue peuvent être utilisées pour la multiplication des conifères: le greffage et le bouturage. La multiplication par greffage a été retenue au Québec pour la mise sur pied des vergers à graines d'épicea commun. Toutefois, nous croyons que lorsque des sélections sont effectuées sur des arbres relativement jeunes, entre

Encouraged by the excellent performance of provenances and well-located commercial plantations, the Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MER) intends to plant 20 million Norway spruce seedlings a year starting in 1988. These figures are presented in an internal document published in 1985 by the forest regeneration service of the MER and entitled Programme d'implantation du réseau de vergers à graines du Québec [Quebec seed orchard network introduction program]. To meet its requirements for quality seed, a seed orchard network totalling nearly 90 ha, is planned by the department.

Two vegetative propagation techniques recognized as effective can be used for conifers: grafting and propagation by cuttings. Grafting has been selected for setting up Norway spruce seed orchards in Quebec. We feel, however, that when selections are made on relatively young trees, between 10 and 20 years of age, propagation by cuttings would be most beneficial (Burdon 1982; Rauter and Hood 1981; Roulund 1979). The effectiveness of such selections has already been demonstrated (Dietrichson and Kierulf 1982; Roulund et al. 1985; Werner 1979). Moreover, the production cost of a ramet from a cutting is ten times lower than that of a ramet obtained from grafting.

10 et 20 ans, il serait avantageux de procéder par bouturage (Burdon, 1982; Rauter et Hood, 1981; Roulund, 1979). En effet, l'efficacité de telles sélections a été démontrée (Dietrichson et Kierulf, 1982; Roulund *et al.*, 1985; Werner, 1979). De plus, le coût de production d'un ramet issu de bouturage est 10 fois moindre que celui d'un ramet obtenu par greffage et par conséquent un plus grand nombre de clones pourrait être produit de manière à établir une base génique large qui permettrait le développement de variétés améliorées. Puisque l'objectif de la multiplication n'est pas la production ligneuse, mais celle de semences, même les ortets présentant des aptitudes restreintes au bouturage pourraient être utilisés. Advenant que les boutures soient prélevées dans la partie supérieure de la cime des arbres, c'est-à-dire dans la même zone où sont extraits les greffons, le bouturage ne devrait pas impliquer de retard, par rapport au greffage, pour ce qui est de la fructification (Werner, 1979) et peu d'aptitudes au bouturage seraient perdues (Roulund, 1973). La période d'attente de la fructification devrait être d'une quinzaine d'années (Wright, 1976: 12 ans en Suède; Dietrichson et Tutturen, 1978: 6 à 10 ans en Norvège; Kleinschmidt, 1983: 20 à 25 ans en République fédérale d'Allemagne).

Therefore, more clones could be produced to establish a wide genetic base permitting the development of improved varieties. Since the object of propagation is production of seed and not of fiber, even ortets exhibiting limited rooting ability of cuttings could be used. Provided cuttings are taken from the upper portion of the crown, the same section from which scions are taken, this method should not involve any delay in fructification in comparison with grafting (Werner 1979) and little rooting ability of cuttings would be lost (Roulund 1973). Fructification should take place in about fifteen years (Wright 1976: 12 years in Sweden; Dietrichson and Tutturen, 1978: 6 to 10 years in Norway; Kleinschmidt 1983: 20 to 25 years in West Germany).

To date, the success of propagation by cuttings in Norway spruce has been very variable and influenced by the endogenous and exogenous factors prevailing during trials. These factors, and their effects on induction of rhizogenesis and subsequent development of the cutting, have been well described by Girouard (1974) and Rauter (1983). These studies suggest substantial differences, accentuated by increases in the age of the ortet, in the rooting ability of Norway spruce (Rauter 1971; Girouard

Le succès du bouturage chez l'épicea commun s'est, jusqu'à présent, avéré très variable et influencé par les facteurs endogènes et exogènes prévalant lors des essais. Ces facteurs, de même que leurs influences sur l'induction de la rhizogénèse et sur le développement ultérieur de la bouture, ont été bien décrits par Girouard (1974) et Rauter (1983). Selon toute évidence, il existe des différences importantes, accentuées par l'augmentation d'âge de l'ortet, dans l'aptitude au racinement de l'épicea commun (Rauter, 1971; Girouard, 1972; Kleinschmidt, 1983). Des taux de racinement satisfaisants, de l'ordre de 50 pourcent, ont toutefois été obtenus de boutures prélevées sur des ortets âgés de 20 ans (Roulund, 1973; Werner, 1976), indiquant que le bouturage pourrait s'avérer une technique valable pour la multiplication d'épicea communs ayant dépassé la juvénilité.

Ce travail a pour but d'évaluer les aptitudes au bouturage d'arbres-plus sélectionnés dans des provenances supérieures d'épicea commun et ayant atteint l'âge de la reproduction sexuée. Il a également pour objectif de vérifier la pertinence d'utiliser le bouturage comme technique de propagation en vue de la réalisation de vergers à graines clonaux.

1972; Kleinschmidt 1983). However satisfactory rooting percentages, (50 percent) have been obtained with cuttings from ortets aged 20 years (Roulund 1973; Werner 1976), indicating that rooting of cuttings may prove to be a valid technique for propagation of Norway spruce that have passed the juvenile stage.

This present study was to assess the rooting ability of cuttings of plus-trees selected from superior provenances of Norway spruce that have reached the age of sexual reproduction and to confirm the suitability of rooting of cuttings as a propagation technique for establishing clonal seed orchards.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel végétal, traitement des boutures et milieu d'enracinement

Suite à la mise en place d'un programme d'amélioration de l'épicéa commun au Centre de foresterie des Laurentides (CFL), six provenances à rusticité éprouvée et à croissance rapide ont été identifiées. Un certain nombre de phénotypes supérieurs y ont été sélectionnés à l'appui de critères dendrométriques et qualitatifs supérieurs et ont servi de matériel de base à cette expérience. L'origine de ces provenances ainsi que le nombre de phénotypes sélectionnés dans chacune d'elle sont présentés au tableau 1.

Soixante-dix boutures ligneuses, courtes et non débourrées ont été récoltées le 5 mai 1983 sur chacun des trente arbres-plus âgés de 19 ans. Elles ont été prélevées sur des pousses latérales de la saison de végétation 1982 de la demie inférieure de la cime. Au moment de la récolte, chaque lot de boutures a été soigneusement étiqueté et emballé séparément dans un sac de polyéthylène, puis entreposés à 4 °C jusqu'au moment du piquage.

MATERIALS AND METHODS

Plant material, handling of cuttings, and rooting medium

Following the establishment of a Norway spruce improvement program at Laurentian Forestry Centre (LFC), six fast-growing and hardy provenances were identified. Several phenotypes were selected on the basis of superior quantative and qualitative criteria to provide the raw material for this experiment. The origins of these provenances and the number of phenotypes selected from each are shown in Table 1.

Seventy short, woody cuttings not exhibiting budbreak were harvested on May 5, 1983, from each of the 19-year-old thirty plus-trees. They were obtained from lateral shoots from the 1982 growing season in the lower half of the crown. At the time of harvesting, each batch of cuttings was carefully labeled, packed separately in a polyethylene bag, and then stored at 4°C until the time of planting.

Tableau 1. Provenances d'épicea commun multipliée par bouturage
Table 1. Origins of Norway spruce propagated by cuttings

	Provenance	Latitude	Longitude	Nombre d'ortets bouturés Number of ortets yielding cuttings
S.4027	Proulx, Québec* Proulx, Quebec	46°40'	72°40'0	5
S.5397	Auce, Latvie RSS Auce, Latvian SSR	56°25'	22°50'E	4
S.5404	Gorodokskii, Biélorussie RSS Gorodokskii, White Russia SSR	55°30'	30°00'E	6
S.5406	Minskii, Biélorussie RSS Minskii, White Russia SSR	53°50'	27°35'E	5
S.5405	Glubokskii, Biélorussie RSS Glubokskii, White Russia SSR	55°15'	30°10'E	5
S.5433	Zakopane, Pologne Zakopane, Poland	49°18'	19°58'E	5

* Plantation Proulx située près de Grandes-Piles, Québec, mais d'origine suédoise.
Proulx plantation of Swedish origin near Grandes Piles, Quebec.

La technique de bouturage employée est basée essentiellement sur les nombreux travaux de multiplication des épinettes effectués par Girouard (1970a, 1970b, 1972, 1974, 1975a, 1975b). Les boutures ont été taillées à l'aide d'un sécateur acéré afin d'obtenir une coupe nette et fraîche et d'uniformiser leur longueur à environ 7 cm. Elles ont ensuite été plongées dans une solution

The cutting technique was based on the numerous spruce propagation studies carried out by Girouard (1970a, 1970b, 1972, 1974, 1975a, 1975b). The cuttings were pruned with sharp secateurs to obtain a clean, fresh cut and a uniform length of about 7 cm. They were then dipped in a BENOMYL-CAPTAN fungicide solution. To facilitate their insertion in the sterilized rooting medium

fongicide de BENOMYL-CAPTAN. Afin de faciliter leur insertion dans le substrat d'enracinement stérilisé et composé d'un volume égal (1:1) de sable grossier et de mousse de sphaigne tamisée à 6 mm, des trous d'une profondeur de 3 cm y ont été pratiqués à l'aide d'un instrument cylindrique effilé. Une fois le piquage terminé, l'ensemble a été copieusement arrosé afin d'assurer un contact ferme des boutures avec le substrat. Les conteneurs Spencer Lemaire de 65 mL ont été utilisés comme support physique.

L'essai de bouturage a été initié le 9 mai 1983 en couche de propagation extérieure de 7 m x 90 cm munie de côtés de polyéthylène de 90 cm de hauteur. L'enceinte a été maintenue ombragée à 50 pourcent à l'aide d'une toile durant toute la durée de l'expérience. Le substrat d'enracinement a été maintenu à une température constante de 20°C à l'aide de câbles chauffants placés dans le fond sableux de la couche. L'arrosage automatisé a assuré l'aspersion quotidienne des boutures, à l'aide de brumisateurs de type FLORA-MIST, pendant 15 secondes à toutes les 30 minutes entre 6:00 et 20:00 heures. Il a été réduit à 15 secondes par heure le 15 août de façon à sevrer graduellement les boutures. Trois traitements de fertilisation à l'aide d'un fertilisant chimique soluble 10-52-10 ont été appliqués les 1, 15 et 29 août 1983.

(composed of equal parts (1:1) coarse sand and 6-mm screened sphagnum moss), holes 3 cm deep were made with a pointed cylindrical tool. After plantings, the cuttings were watered generously to ensure that they were in firm contact with the substrate. Spencer Lemaire containers with a capacity of 65 mL were used as a physical support.

The cutting trial began on May 9, 1983, in an 7 m x 90 cm outdoor propagation bed fitted with polyethylene sides 90 cm high. A shade cloth was used to ensure 50 percent shade for the duration of the experiment. Heating cables in the sandy bottom of the bed kept the rooting medium at 20°C constantly. The cuttings were watered automatically using FLORA-MIST sprayers for 15 seconds every 30 minutes between 6:00 a.m. and 8:00 p.m. Watering was cut back to 15 seconds an hour on August 15 to gradually wean the cuttings. Soluble 10-52-10 chemical fertilizer was applied on August 1, 15, and 29, 1983.

Observations et analyses statistiques

Le plan expérimental utilisé était à deux facteurs de classification hiérarchisés et comprenait 30 clones de 6 provenances distinctes. Chaque clone était représenté par 70 boutures partagées en 2 groupes égaux.

Les boutures ont été examinées au début du mois de septembre 1983, soit après 19 semaines passées en couche de propagation. Afin d'évaluer le potentiel global de la bouture à la rhizogénèse, nous avons noté la présence ou l'absence de racines adventives, le nombre de racines formées, c'est-à-dire le nombre de racines de plus de 5 mm de longueur, ainsi que la structure racinaire. Les données recueillies ont servi à établir: 1) le taux de racinement clonal moyen, c'est-à-dire la proportion des boutures qui comptaient une racine adventive et plus; 2) le nombre moyen de racines produites par bouture; 3) la ramification racinaire, c'est-à-dire la proportion des boutures faisant partie de chaque classe de racinement. On a distingué quatre classes de racinement: la classe A regroupe les boutures dont la ou les racines adventives n'étaient pas ramifiées; la classe B regroupe les boutures dont les racines adventives possédaient une ramification secondaire, alors que la

Observations and statistical analyses

Our experimental plan used two hierarchical classification factors and took in 30 clones from 6 separate provenances. Each clone was represented by 70 cuttings divided into 2 equal groups.

The cuttings were examined in early September 1983 after 19 weeks in the propagation bed. To assess the overall potential of the cutting for rhizogenesis, we noted the presence or absence of adventitious roots, the number of roots formed (number of roots over 5 mm in length), and the root structure. The collected data were used to determine: 1) the mean clonal rooting percentage (proportion of cuttings with one or more adventitious roots); 2) the mean number of roots produced per cutting; and 3) the extent of root ramification, i.e. the proportion of cuttings belonging to each rooting class. Four rooting classes were considered: class A) cuttings whose adventitious root or roots were not ramified; class B) cuttings whose roots exhibited a secondary ramification; class C) cuttings showing a tertiary ramification; and class D) cuttings with both secondary and tertiary ramifications (a root system comparable to that of a seedling).

classe C regroupe les boutures possédant une ramification tertiaire et que les boutures de la classe D possédaient à la fois des ramifications secondaires et tertiaires, soit un système racinaire comparable à celui d'un semis.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le taux de racinement clonal moyen

Les résultats de cette expérience indiquent que 57 pourcent des boutures se sont enracinées de diverses manières. Ils indiquent également que l'aptitude au racinement des boutures est très variable en fonction de leur appartenance à un clone ou à une provenance en particulier. Le taux de racinement couvre une plage s'étendant de 32 à 86 pourcent au niveau de la provenance et de 2 à 94 pourcent au niveau du clone (tableau 2). L'analyse de la variance nous indique que les différences dues à l'origine sont statistiquement significatives (tableau 3). Bien que légèrement supérieur, le taux moyen de racinement que nous avons observé est comparable à celui rapporté par Roulund (1973). Ce dernier a obtenu un taux de racinement moyen de 45 pourcent chez 10 clones d'épicea commun âgés de 19 ans. Ses résultats indiquaient également une forte variation de l'aptitude au

RESULTS AND DISCUSSION

Mean clonal rooting percentage

Fifty-seven percent of the cuttings rooted to some extent. Rooting ability of the cuttings was highly variable between clones or provenances. The rooting percentage extended from 32 to 86 percent for provenances and from 2 to 94 percent for clones (Table 2). Variance analysis indicates that the differences due to origin are statistically significant (Table 3). While it is slightly higher, our observed mean rooting percentage is comparable to that reported by Roulund (1973), who obtained a mean figure of 45 percent for 10 clones of 19-year-old Norway spruce. Roulund's results also indicated a large variation in rooting ability for the species. Major clonal variations in Norway spruce have also been observed by Rauter (1971), Girouard (1972), and Kleinschmidt (1983). Our results show moreover that the provenances with the highest rooting capacity

Tableau 2. Aptitude au bouturage des clones d'épicea commun de provenances supérieures
Table 2. Rooting ability of Norway spruce clones from superior provenances

Provenance	Clones	Pourcentage de racinement Rooting percentage	Racines formées par bouture Roots formed per cutting	Ramification racinaire (%) Root ramification (%) A	B	C	D
S.5433, Zakopane	C.80401	93	3,95	48	44	8	0
	C.80405	90	3,54	84	16	0	0
	C.80403	86	3,55	33	52	15	0
	C.80402	85	3,59	37	58	5	0
	C.80404	77	3,98	68	30	2	0
		86	3,72	54	40	6	0
S.5404, Gorodokskii	C.81418	85	3,63	22	49	29	0
	C.81413	82	2,89	91	9	0	0
	C.81410	78	2,85	59	39	2	0
	C.81403	72	1,99	74	26	0	0
	C.81409	66	1,64	85	15	0	0
	C.81417	65	3,00	36	51	13	0
		75	2,67	61	32	7	0
S.5405, Glubokskii	C.81420	85	3,18	34	58	8	0
	C.81412	76	1,50	87	13	0	0
	C.81416	53	1,61	49	41	10	0
	C.81406	40	1,26	96	4	0	0
	C.81401	27	1,85	100	0	0	0
		56	1,88	73	23	4	0
S.4027, Proulx	C.81450	94	4,34	80	20	0	0
	C.81448	86	2,42	65	27	8	0
	C.81447	39	1,68	70	30	0	0
	C.81446	22	1,31	93	7	0	0
	C.81449	5	1,25	100	0	0	0
		49	2,20	81	17	2	0
S.5397, Auce	C.81415	68	2,26	51	47	2	0
	C.81411	59	2,65	41	51	8	0
	C.81402	29	1,40	50	50	0	0
	C.81419	10	1,30	100	0	0	0
		42	1,90	61	37	2	0
S.5406, Minskii	C.81404	85	2,42	12	74	14	0
	C.81407	26	1,64	89	6	5	0
	C.81405	26	1,26	89	11	0	0
	C.81408	20	1,27	36	64	0	0
	C.81414	2	1,00	100	0	0	0
		32	1,42	65	31	4	0
$\bar{X}$		57	2,33	66	30	4	0

Tableau 3. Analyse de la variance du taux de racinement et du nombre de racines adventives formées par bouture chez les clones d'épicea commun

Table 3. Analysis of variance of rooting percentage and mean number of adventitious roots formed per cutting in Norway spruce clones

Sources de variation / Source of variation	Degré de liberté / Degree of freedom	Carrés moyens / Mean square	F / F ratio and significance
Taux de racinement moyen			
Mean rooting percentage			
Provenances / Provenances	5	4224,7	3,36 *
Clones / Clones	24	1256,4	11,62 **
Résidus / Residual	30	108,1	
Nombre moyen de racines formées			
Mean number of roots formed			
Provenances / Provenances	5	6,4	5,21 **
Clones / Clones	24	1,23	9,03 **
Résidus / Residual	30	0,13	

* Significatif au seuil de 5 %
Significant at the 5% level;

**Significatif au seuil de 1 %
Significant at 1% level.

racinement de cette espèce. Des variations clonales importantes ont aussi été observées par Rauter (1971), Girouard (1972) et Kleinschmidt (1983) chez cette espèce. Nos résultats indiquent en plus que les provenances démontrant les plus fortes aptitudes au racinement sont également les moins variables alors que les provenances possédant une faible aptitude au racinement démontrent une forte variabilité inter-clone. Les provenances S.5433 Zakopane et S.5406 Minskii sont des exemples typiques (tableau 2). Nous ne pouvons établir ici de relation entre la croissance des provenances et leur aptitude au bouturage puisque celles-ci ont toutes été choisies en fonction de leur croissance rapide. Cependant, Szonyi *et al.* (1975) ont obtenu les meilleures aptitudes au racinement de provenances à croissance rapide originaires de l'est des Carpates. Cette relation entre la vigueur des provenances et leur aptitude au bouturage est très encourageante, que le bouturage soit réalisé en vue de la production commerciale de fibres, du développement de variétés multiclonales ou de la mise sur pied de vergers à graines, puisque l'objectif final est le même dans tous les cas, soit la meilleure croissance et reproductivité possible.

are also the least variable, while those with low rooting capacity exhibit high interclonal variability. The S.5433 Zakopane and S.5406 Minskii provenances are typical examples (Table 2). We cannot establish here any relationship between the growth of these provenances and their capacity for propagation by cuttings since they were all selected on the basis of rapid growth. However, Szonyi et al. (1975) obtained the best rooting ability from fast-growing provenances originating in the eastern Carpathians. This positive link between the growth of the provenances and their rooting ability is very encouraging whether the intended use of the technique is commercial fiber production, development of multiclonal varieties, or establishment of seed orchards, since the final objective is the same in all cases: to obtain the best possible growth and reproductivity.

Nombre moyen et ramification des racines adventives

Le nombre moyen de racines adventives formées par bouture est une autre caractéristique intéressante à considérer lors du bouturage (figure 1). En effet, il représente plus ou moins l'aptitude de la bouture à initier un développement autonome rapide. Girouard (1970 et 1975) a trouvé qu'en moyenne, près de 10 racines adventives se développent chez les boutures d'épicea commun prélevées sur des semis de 4 ans. Un tel système racinaire est comparable à celui d'un semis (Kleinschmidt, 1983). Nous avons quant à nous dénombré seulement un peu plus de 2,3 racines par bouture, 19 semaines après le piquage (tableau 2). Le nombre de racines par bouture varie de 1,4 à 3,7 d'une provenance à l'autre et de 1,0 à 4,5 au niveau clonal. Ces différences sont fortement significatives (tableau 3). Cependant, nous avons observé des boutures comptant jusqu'à neuf racines. L'écart important entre les résultats que nous avons obtenus et ceux de Girouard (1970 et 1975) est certainement attribuable en grande partie à la différence d'âge des ortets. Le peu de racines formées chez les boutures d'arbres âgés peut réfléter soit leur faible capacité à former des initiales racinaires ou l'arrêt de leur développement. Il a été démontré qu'une fraction

Mean number and ramification of adventitious roots

The mean number of adventitious roots formed per cutting is another characteristic of interest for studies of propagation by cuttings (Figure 1), since it gives a rough indication of the ability of the cutting to initiate rapid autonomous development. Girouard (1970a and 1975a) found cuttings taken from 4-year-old Norway spruce seedlings form an average of ten adventitious roots. Such root systems are comparable to those of seedlings (Kleinschmidt 1983). In our study, we recorded only slightly over 2.3 roots per cutting 19 weeks after planting (Table 2). The number of roots per cutting ranged from 1.4 to 3.7 from provenance to provenance and from 1.0 to 4.5 from clone to clone. These differences are highly significant (Table 3). However, we did observe cuttings with up to 9 roots. The large discrepancy between our results and those obtained by Girouard (1970 and 1975) may be attributed in large part to the difference in the age of the ortets. The small number of roots formed in cuttings from older trees may reflect their low capacity for formation of root initials or the cessation of their development. It has been shown that only a fraction of the root initials formed develop into primordia and then into adventitious roots (Dalgas 1973).

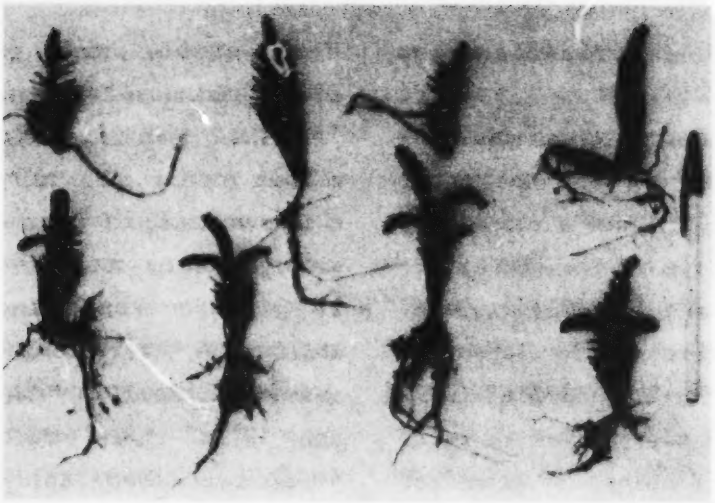


Figure 1. Variation intraclonale du racinement des boutures d'épicea commun à l'âge de 19 ans.

Figure 1. Intraclonal variation in rooting performance of cuttings from Norway spruce aged 19 years.

seulement des initiales racinaires formées se développe en primordias, puis se transforme en racines adventives (Dalgas, 1973). Des observations en cours nous conduisent à soutenir que le nombre de racines adventives par bouture continue d'augmenter après 19 semaines, période à laquelle s'est arrêtée cette étude. Chez le pin blanc, de nouvelles racines adventives se forment sur une période allant jusqu'à 13 mois après l'apparition de la première racine (Struve and Blazich, 1982). Ceci est important puisque la croissance ultérieure des boutures en dépend. Struve (1984) rapporte que le diamètre à hauteur de

Observations in progress lead us to maintain that the number of adventitious roots per cutting continues to increase after 19 weeks, the point at which this study was terminated. In white pine, new adventitious roots form over a period of up to 13 months following the appearance of the first root (Struve and Blazich 1982). This is important since the subsequent growth of the cuttings depends on it. Struve (1984) reported that, for the same species, diameter at breast height at age 10 and 40 years is positively linked to the number of adventitious roots per cutting at the time of planting.

poitrine de cette même espèce à l'âge de 10 et de 40 ans est positivement lié au nombre de racines adventives des boutures au moment de la plantation.

Les boutures développent un système racinaire généralement inférieur à celui d'un semis normal et tendant à être grossier et superficiel (Struve, 1984). Ces systèmes racinaires diffèrent également au niveau du diamètre au collet des racines et dans le nombre de ramifications de premier et de deuxième ordre (Kleinschmidt, 1983). En effet, notons que dans notre étude aucune bouture n'a été classifiée D, c'est-à- dire ayant un système racinaire comparable à celui d'un semis. Nous avons tenté de qualifier les clones et les provenances d'épicea commun testés selon leur représentation dans chaque classe de ramification (tableau 2). Nous avons effectué des tests d'indépendance entre les provenances et les classes de ramification et entre les clones et les classes de ramification. Nous avons trouvé qu'il existait des différences significatives entre les provenances (G = 50,63**) et entre les clones (G = 390,08**) en regard au nombre total de boutures qui se retrouve dans chaque classe de ramification racinaire. Il y a donc des provenances et des clones qui présentent une ramification plus développée.

In comparison with seedlings, cuttings generally develop an inferior root system that tends to be rudimentary and superficial (Struve 1984). Seedling and cutting root systems also differ in terms of root collar diameter and number of first- and second-order ramifications (Kleinschmidt 1983), and none of the cuttings in our study could be placed in root class D (root system comparable to that of a seedling). We attempted to qualify the tested Norway spruce clones and provenances according to their representation in each ramification class (Table 2). Accordingly, we conducted independence tests between provenances and ramification classes and between clones and ramification classes. We found significant differences between provenances (G = 50.63**) and between clones (G = 390.08**) with regard to the total number of cuttings falling into each root ramification class. Thus there are provenances and clones which exhibit more highly developed ramification. In general, the clones and provenances with high rooting percentages also tended to develop a high number of roots and better root ramification (Table 4).

Tableau 4. Corrélation entre les caractéristiques de rhizogénèse au niveau des clones et des provenances chez l'épicea commun

Table 4. Correlation between rhizogenic characteristics of Norway spruce clones and provenances

	Pourcentage de racinement Rooting percentage	Racines formées par bouture Roots formed per cutting	Ramification racinaire A Root ramification A	Ramification racinaire B Root ramification B	Ramification racinaire C Root ramification C
			PROVENANCES		
Pourcentage de racinement Rooting percentage		0,83**	-0,51**	0,48**	0,42*
Racines formées par bouture Roots formed per cutting	0,93**		-0,47**	0,43*	0,45*
Ramification racinaire A Root ramification A	-0,47	0,52		-0,98**	0,73**
Ramification racinaire B Root ramification B	0,35	0,44	-0,98**		0,60**
Ramification racinaire C Root ramification C	0,76*	0,60	-0,60	0,43	
			CLONES		

* Significatif au seuil de 5 %
Significant at the 5%;

** Significatif au seuil de 1 %
Significant at the 1%.

De façon générale, les clones et les provenances ayant un fort pourcentage d'enracinement ont également une tendance à développer un nombre élevé de racines et une meilleure ramification racinaire (tableau 4).

CONCLUSION

Les résultats obtenus de cette étude démontrent que des épicea communs sélectionnés pour leurs caractéristiques de croissance et de forme supérieures et ayant atteint l'âge de reproduction possèdent encore des aptitudes au bouturage très satisfaisantes. En effet, 19 semaines seulement après le piquage des boutures, près de 60 pourcent d'entre elles étaient racinées adéquatement. Bien que des différences significatives aient été observées aussi bien au niveau clonal qu'au niveau de l'origine, environ deux clones sur trois étaient racinés à plus de 50 pourcent et chaque provenance comptait au moins un de ces clones.

Compte tenu de la simplicité du bouturage et de son coût peu élevé, ainsi que du maintien, jusqu'à un âge suffisant pour permettre une sélection phénotypique efficace, des aptitudes au bouturage de l'épicea commun, il serait avantageux d'utiliser cette technique pour la multiplication d'arbres-plus et la réalisation

CONCLUSION

The results of this study show that Norway spruce phenotypes, which have reached reproduction age, selected for superior growth and form characteristics still exhibit very satisfactory capacity for propagation by cuttings. Only 19 weeks after planting, nearly 60 percent of the cuttings were adequately rooted. While significant differences were observed between both clones and provenances, about two clones out of three showed more than 50 percent rooting and each provenance accounted at least one of these clones.

The simplicity and low cost of propagation by cuttings and the retention of rooting ability of Norway spruce to an age that is sufficient for effective phenotype selection, allows this technique to be applied profitably to propagation of plus-trees and to establishment of seed orchards. Cuttings should be

de vergers à graines clonaux chez cette espèce. Afin de ne pas retarder la production de cônelets et de strobiles mâles dans les vergers à graines issus de boutures, il est recommandé que celles-ci soient récoltées dans la demie supérieure de la cime des arbres sélectionnés.

harvested from the upper half of the crown of trees selected so that the production of conelets and male strobili in seed orchards from cuttings not be retarded.

RÉFÉRENCES/REFERENCES

Burdon, R.D. 1982. The roles and optimal place of vegetative propagation in tree breeding strategy. Pages 66-83 *In* Proc. IUFRO Point Meeting. Sensenstein.

Camirand, R.; Camiré, C.; Bernier, B. 1983. Comportement de *Picea abies* (L.) Karst. en plantation au Québec, Canada. II. Relations nutrition-croissance. Plant Soil 73: 17-26.

Castonguay, A. 1977. Rentabilité des reboisements au Québec. II - Plantations d'épinette blanche et d'épinette de Norvège. Qué. Minist. Terres For. Serv. rech., Mém. 38. 166 p.

Corriveau, A. 1976. L'épinette de Norvège. Pages 125-150 *In* L'amélioration génétique des espèces forestières au Québec. Qué. Minist. Énerg. Ressour. Comm. Res. Gen. For. (C.R.G.F.) Mém. 30, 125-150.

Corriveau, A., Vallée, G. éds. 1983. Amélioration génétique des essences résineuses au Québec. Recherche et développement. Serv. can. for. et Qué. Minist. Énerg. Ressour. CAGAFQ, Rapport conjoint. 70 p.

Dalgas, K.F. 1973. Anatomical studies on cuttings of Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) undergoing the rooting process. For. Tree Improv. 1973(5): 3-20.

Dietrichson, J.; Tutturen, R. 1978. Good seed production 6 to 10 years after grafting. [In Norwegian]. Skogbruk: 617.

Dietrichson, J.; Kierulf, C.H. 1982. Selection of eight year old Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) planted in a progency trial and mass production by cuttings. Hedd. Norsk Institutt for Skogsforsknig 38: 28.

Girouard, R.M. 1970a. Rooting plain and heel cuttings of spruce. Plant Propag. 16(1): 7-12.

Girouard, R.M. 1970b. Le bouturage de l'épinette. Serv. can. for. Rev. bim. rech. Ottawa. 26(5): 34.

Girouard, R.M. 1972. Variation in rooting ability of stem cuttings from clones of a superior white spruce provenance. Can. For. Serv. Bi-Mon. Res. Notes 28(6): 40-41.

Girouard, R.M. 1974. Propagation of spruce by stem cuttings. N.Z. J. For. Sci. 4(2): 140-9.

Girouard, R.M. 1975a. Propagating four species of spruce by stem cuttings. Can. For. Serv. Bi-Mon. Res. Notes. Ottawa. 31(4): 29-31.

Girouard, R.M. 1975b. Seasonnal rooting response of Norway spruce stem cuttings. Plant Propag. 21(3): 9-10.

Kleinschmidt, T.J. 1983. Concepts and experiences in clonal plantations of conifers. Pages 26-56 *In* L. Zsuffa, R.M. Rauter, and C.W. Yeatman eds. Proc. Nineteenth meeting of the Canadian Tree Improvement Association, Part II. Toronto, Ont.

MacArthur, J.D. 1964. Norway spruce plantations in Québec. Can. Dept. For. Res. Branch. Publ. 1059. 44 p.

Rauter, R.M. 1971. Rooting of *Picea* cuttings in plastic tubes. Can. J. For. Res. 1: 125-129.

Rauter, R.M.; Hood, J.V. 1981. Uses for rooted cuttings in tree improvement programs. Pages 82-91 *In* Proc. Eighteenth meeting of the Canadian Tree Improvement Association, Part 2. Duncan, B.C.

Rauter, R.M. 1983. Current status of macropropagation. Pages 58-74 *In* Proc. Nineteenth meeting of the Canadian Tree Improvement Association, Part 2. Toronto, Ont.

Roulund, M. 1973. The effect of cyclophysis and topophysis on the rooting ability of Norway spruce cutting. For. Tree Improv. 5: 21-40.

Roulund, M. 1979. Stem form of cuttings related to age and position of scions. (*Picea abies* (L.) Karst.) For. Tree Improv. 13: 24 p.

Roulund, M.; Wellendorf, M.; Werner, M. 1985. A clonal experiment in Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) 15 years' results. For. Tree Improv. 17: 33 p.

Struve, D.K.; Blazich, F.A. 1982. Comparison of three methods of Auxin application on rooting of Eastern white pine stem cuttings. For. Sci. 28(2): 337-344.

Struve, D.K. 1984. Growth of rooted cuttings and seedlings in a 40-year-old plantation of eastern white pine. Can. J. For. Res. 14: 462-464.

Szonyi, L.; Ujvari, F.; Ujvari, E. 1975. Autovegetative propagation of Norway Spruce. Erdesz. Kut. 71(2): 163-169.

Werner, M. 1976. Practical experiences from cutting propagation of Norway Spruce. Breeding Norway spruce, Bagesund 1976. Institutionen för skogsgenetik, Skogshögskolan, 104-05 Stockholm 50.

Werner, M. 1979. Present methods of propagation of Norway Spruce and future aspects. Pages 117-128 *In* IUFRO Norway Spruce Meeting. S2.03.11-S2.02.11. Bucharest.

Wright, J.W. 1976. Introduction to forest genetics. Academic Press, Inc. New York.